

<報文>稀薄懸濁液の清澄速度におよぼす温度の影響

著者	矢沢 彬, 臼井 進之助, 江口 元徳
雑誌名	東北大学選鑛製錬研究所彙報 = Bulletin of the Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University
巻	29
号	1
ページ	89-101
発行年	1973-11-24
URL	http://hdl.handle.net/10097/32677

稀薄懸濁液の清澄速度におよぼす温度の影響

矢 沢 彬*

臼井進之助*

江口 元徳*

The Effects of Temperature on Clarification Rates of Dilute Aqueous Suspensions.
By Akira YAZAWA, Shinnosuke USUI and Motonori EGUCHI.

The effects of temperature on clarification rate, which had been not fully noticed, were demonstrated by a theoretical approach and experimental treatments for dilute aqueous suspension of kaoline, quartz or ferric oxide at temperature range 2 to 97°C.

The experiment was carried out under various pH values, by means of optical transmission measurements of samples pipetted out from the level of 5 cm under the meniscus in the settling glass cylinder.

The experimental results are summarized as follows:

(1) The relative turbidity, τ_r , which is the measure of clarity of solution, was defined by $\tau_r = \tau/\tau_m$, where τ is the turbidity at time t and τ_m is the initial turbidity.

(2) Under the assumption of complete dispersion, the changes of τ_r with settling time were simulated for the sample suspensions at several temperatures between 2 and 97°C.

(3) A remarkable increase in clarification rate was always observed with increasing temperature, and agreed well with the theoretical estimation.

(4) A considerable change in the clarification rate was brought about by the variation of pH values of the solution at a constant temperature, and its general trend agreed well with the tendency predicted from the ζ -potential of minerals at 25°C.

(5) The experimental clarification curves for the dispersed suspensions showed approximately good agreement with those of theoretical predictions.

(6) Under the existence of cohesive conditions in the system at elevated temperatures, the increment in clarification rates were accelerated.

(7) In the experiments at 97°C, clarification in dispersed systems were somewhat disturbed because of natural convection flow in the solutions.

(Received June, 25, 1973)

1. 緒 言

選鉱、製錬や化学工業では、今後高い温度の水溶液系の工業的利用が期待でき、著者ら¹⁾も反応論的立場から研究を重ねてきた。

一方、沈降、濾過などの固-液分離操作は、湿式処理に際して不可欠の工程であり、この能率が全工程の流れを律する場合が少なくない。固-液分離に関連する従来の研究は、常温ないしそのごく近傍の温度に限られており、温度の影響に対してとくに注意は払われていない。選鉱や廃水処理^{2),3)}などのように主に常温を対象とする場合においても、気温の変化などが考えられ、固-液分離に対する温度の効果をj知することは、工程や装置の設計、配置に関連して、種々の観点から重要な意味を持つものと思われる。

著者ら⁴⁾は先に、固-液分離におよぼす温度の影響には無視できないものがあることを計算から予測して報告したが、現在これらに関する実験的な検討を進めている。本報告では、稀薄な懸濁液

東北大学選鉱製錬研究所報告第632号、昭和48年度日本鉱業会春季大会発表

* 東北大学選鉱製錬研究所

1) 江口元徳、矢沢 彬：東北大学選研集報、**26** (1970), 153; 日鉱、**87** (1971), 329; 日本鉱業会研究業績講演要旨集、(1971), 271; (1972), 225.

2) 江口元徳、矢沢 彬：硫酸と工業、**25** (1972), 82, 114.

3) 臼井進之助：日本金属学会会報、**11** (1972), 173.

4) 矢沢 彬、江口元徳：日本鉱業会昭和47年度秋季大会(熊本)分科研究会資料、(1972), H-3.

の清澄速度と温度の関係について検討した結果を報告する。

懸濁液の清澄度は、溶液中の懸濁物質の混在度を反映しており、懸濁物質は微細であることが多い。清澄化の理論的背景は、溶液中の微細粒子の沈降および凝集分散理論に集約されるが、これらの実験は常温に限られている。一方溶液中の微細粒子の自重による沈降は遅く、実用上は清透な上澄液を得る上に種々の問題をひきおこしている。また用、廃水などでは、S.S. 濃度と呼ばれる懸濁粒子の量が水質評価の一つの基準となっているなど、効果的な除去が望まれる。この改善のために常温における装置⁵⁾の改良や凝集³⁾の促進⁶⁾といった面からの検討が相当の効果をあげているが、なお温度の影響については考慮されていない。

上記のような基礎および実用上にわたる興味から、カオリン、石英および酸化第2鉄の各微細粒子の稀薄懸濁液について、理論的なシミュレーションと実験による吸光度の測定結果を対照しながら、清澄速度と温度の関係を検討した。

2. 試 料

懸濁質として、カオリン（高玉鉱山産）、石英、酸化第2鉄（修酸第1鉄を空气中で加熱分解させた α -ヘマタイト）を微粉碎して用いた。各試料の粒度構成を第1表に示す。粒度分析は日立光走査型 PSA-2 粒度分析計により行った。

第1表 試料の密度と粒度構成 (wt%)

	密 度 (g/cm ³)	粒 径 範 囲 (μ)				
		0~1	1~2	2~3	3~4	4<
カ オ リ ン	2.58	12.3	33.2	21.3	17.8	15.5
石 英	2.20	12.9	34.1	24.2	19.7	9.1
酸化第2鉄	5.15	13.5	31.3	44.1	11.4	

懸濁液は、上記試料をそれぞれ単独に、吸光度の測定に都合のよい濃度で用いたが、カオリン：0.08%，石英：0.10%，酸化第2鉄：0.04%であった。溶液の pH は塩酸あるいは苛性カリにより調整したが、塩化カリを併用してイオン強度を 10^{-3} に保った。

試薬類は全て市販の試薬特級を用いた。

3. 実 験 方 法

実験は所定温度の恒温浴中に、50cc の懸濁液を入れた 50cc 用ガラス製活栓付メスシリンダーを固定して静置沈降させ、水面下 5cm における吸光度と時間の関係を追跡した。シリンダー内径は約 2.2cm で初めの液面は約 12.5cm であった。

懸濁系を平衡に保つよう実験に先立ち約 1 時間所定温度に保ったあと、沈降開始直前の吸光度を知るために、シリンダー内をピペットを用いて充分かきまぜながら、約 1.5cc の溶液を採取して沈降試験に移った。

沈降試験は、再びピペットでかきまぜを行ってから沈降させた。ピペットを液から引上げた時間を基点として所定時間毎に第1図の模式図に示すように、水面下 5cm の位置にピペット先端を置き、できるだけ静かに約 1.5cc の試料をとり出し、0.5cm の透過長さを持つガラスセルに移して吸光度を測定した。これは図に示すように、沈降中の懸濁液の水面下 5cm の位置の吸光度を測定

5) 例えば、吉岡直哉：詳論化学工学 I，一単位操作 I—，吉田，森 編，(1962)，329，朝倉。

6) W.F. Linke & R.B. Booth: AIME Trans., **217** (1960), 364.

することに相当する。吸光度の測定には、日立139型分光光度計を用い、試料採取から吸光度の測定終了まではできるだけ速かに行った。使用した光は、短波長をさける意味で $650\text{m}\mu$ の波長を用いたが、懸濁媒のみによる吸収はなかったので、この場合は濁度を測定しえたと考えることができる。本実験では、対流効果を防止する意味でシリンダー径を充分大きくとれなかったため、1回の試料採取中に約3mm水面が下がったが、同一懸濁質間の比較には余り影響はないものと考え、以後沈降距離として5cmを採用した。なお実際の観察では、 60°C までは対流の影響は無視できるが、 97°C ではシリンダー内の対流による流動が観察された。

4. 理論的考察

4.1 粒子の自由沈降速度の温度依存性

稀薄懸濁液中の微細粒子の沈降速度 u は、次のStokes式により表わされる。

$$u = g (\rho_s - \rho) D^2 / 18 \eta \quad (1)$$

ここで、 g は重力の加速度、 ρ_s は粒子密度、 ρ 、 η はそれぞれ懸濁媒の密度および粘度、 D は粒径である。

(1)式に対応して、従来沈降速度の改善のために、(i)懸濁媒を選択して ρ や η を変える、(ii)粒子の凝集分散をうながし、 $\rho_s D^2$ に相当する項を変化させる、(iii)遠心力を利用して g を大にする、という3つの原理が応用されてきた。(i)は粒度分析などのように、沈降速度自体を問題にする場合に利用され、他は懸濁質と懸濁媒の組み合わせが工程によってきまってしまう場合に利用される。このうち(ii)はどちらかといえば特殊な場合の沈降の促進に限られ、固-液分離のためには、通常粒子同志の凝集をうながし、 $\rho_s D^2$ を大にすることが行なわれ効果をあげている。

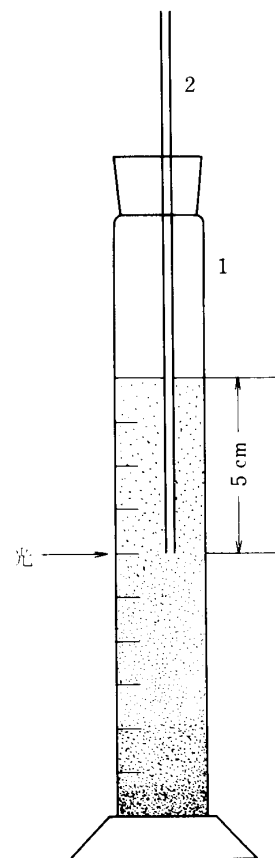
一方、温度の変化は液体物性の変化を誘起し、(1)式における ρ や η に依存する沈降速度を変えることが期待できる。本報告で対象とする水⁷⁾の密度および粘度と温度の関係を示すと第2図のようである。密度の温度依存性は微少であるが、粘度のそれは大きく、温度を変化させることによって前記(ii)の原理を同一懸濁媒を用いて実現することができる。

本報告の試料について、5cm沈降するに要する時間と粒径の関係を(1)式および第1表の ρ_s を利用して求めると第3図～第5図の結果を得る。いずれも同一時間内に沈降する粒径の下限が高温ほど小さくなり、沈降速度が速くなることを示している。また同一試料についてみると、粒径が大きいほど上記温度の効果が大きくなっている。これは(1)式からわかるように沈降速度が D^2/η に比例するため、凝集が起って見掛けの粒径が大きくなると、凝集の効果の上に温度効果の加速が起ることを意味している。また凝集は速度論的に高温ほど有利であり、この場合はさらに沈降が速くなるものと考えられる。

ただし、以上は静止流体として理想的な場合を考察したが、実際の系では対流による流動が起ることがある。高温ほどこれが激しくなることが予想され、沈降に対する負の要因となろう。事実本実験において、 97°C では対流による流動が起ったことは前述した通りである。

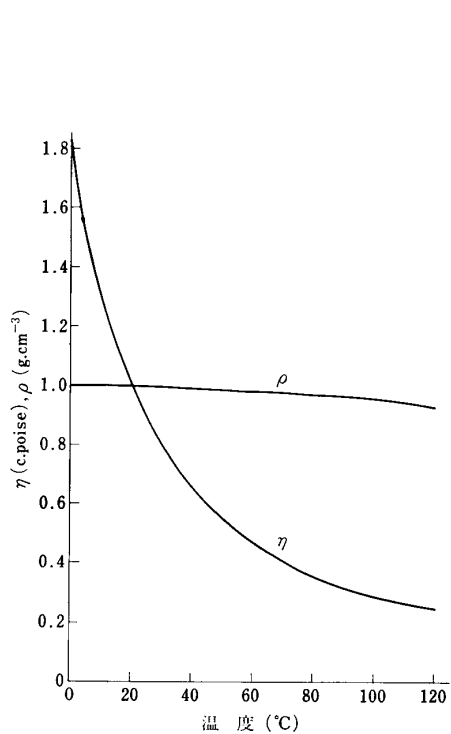
4.2 清澄曲線の理論的予測

懸濁液の清澄性を吸光度(濁度)で表わすものとし、本報告の試料がどのような時間的経過を経

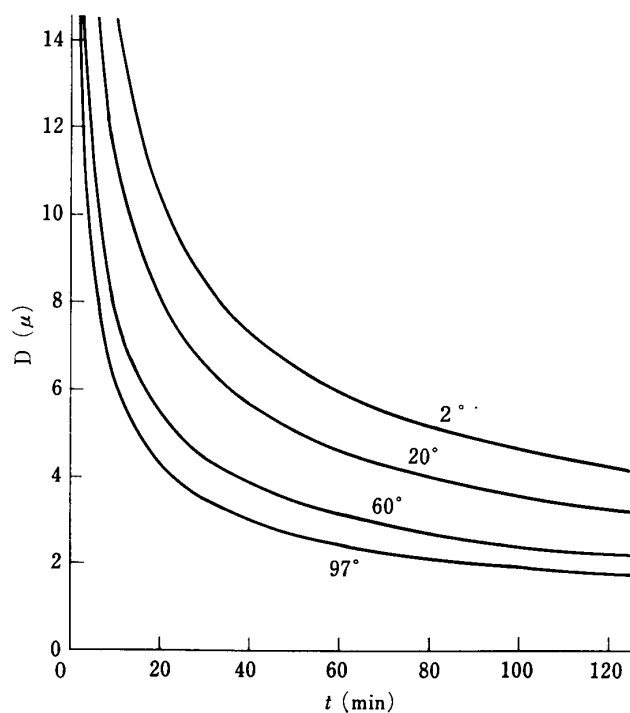


第1図 試料採取法
1: 活栓付メスリンダー
2: ピペット

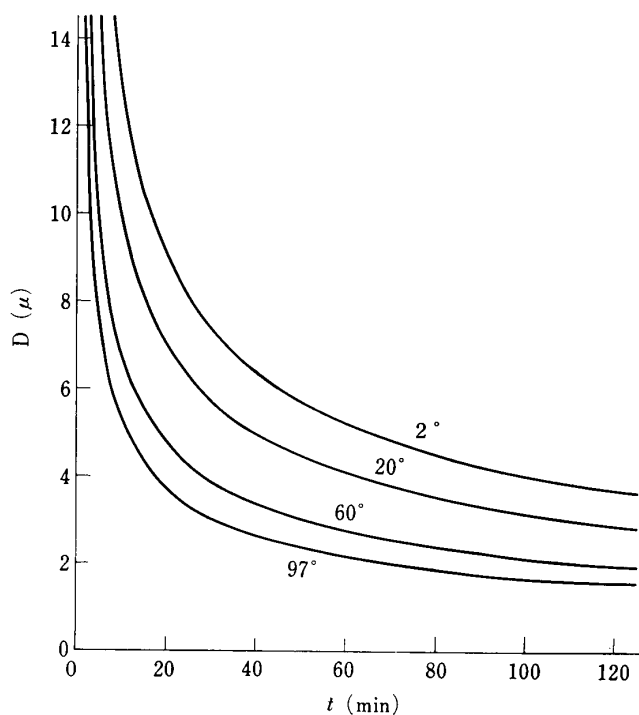
7) 中央熱管理協議会編：熱管理便覧，(1972)，丸善，25，46。



第 2 図 水の密度および粘度の温度依存性



第 3 図 カオリンの沈降時間と粒径の関係におよぼす温度の影響 (沈降距離 5 cm)



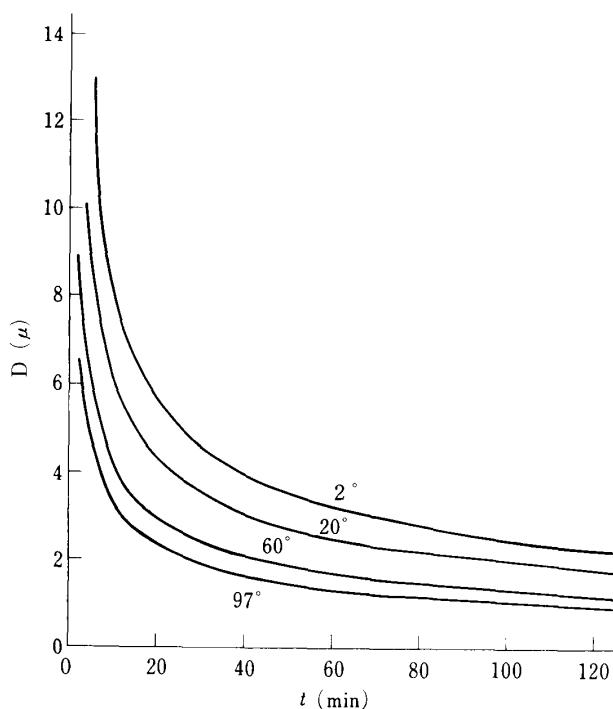
第 4 図 石英の沈降時間と粒径の関係におよぼす温度の影響 (沈降距離 5 cm)

て澄んで行くかを, 2, 3 の仮定を置いて理論的に予測してみる.

多分散懸濁液の透過式⁸⁾は

$$I = I_0 \cdot \exp \left(- K_1 l \int_0^D K_{(D)} \cdot n_{(D)} \cdot D^2 dD \right) \quad (2)$$

8) H.E. Rose: J. Appl. Chem., 2 (1952), 80.



第5図 酸化第2鉄の沈降時間と粒径の関係におよぼす温度の影響（沈降距離5cm）

と示される．ここで， I ， I_0 は透過光および入射光の強さ， l は光の透過長さ， D は粒径， $n_{(D)}$ は粒径 D の粒子の個数濃度， $K_{(D)}$ は粒径 D の粒子に対応する吸光係数， K_1 は定数である．

懸濁液の吸光度は濁度 τ を表わすので，

$$\tau = \log (I_0/I) \quad (3)$$

と置き，定数を整理すると，

$$\tau = K_2 \int_0^D K_{(D)} \cdot n_{(D)} \cdot D^2 dD \quad (4)$$

を得る． K_2 は (1) 式の K_1 ， l および対数変換係数を含めた定数である．

本報告の試料は，数 μ 程度の粒子が大部分を占めるので，吸光係数 $K_{(D)}$ を一定と仮定し，定数 K_3 に含めると，

$$\tau = K_3 \int_0^D n_{(D)} \cdot D^2 dD \quad (5)$$

と表わすことができる．この場合は， τ が粒径が D までの粒子の積算面積に直接比例する．この面積は K_1 を考慮するだけで投影面積あるいは表面積の両方* を対象にすることができる．

粒子の個数濃度 $n_{(D)}$ は，沈降開始直前の個数初濃度を用いると個数分布率 $N_{(D)}$ に変換できる．それゆえ個数初濃度を定数に含め K_4 と表わすと (5) 式は，

$$\tau = K_4 \int_0^D N_{(D)} \cdot D^2 dD \quad (6)$$

となる．沈降開始直前の濁度を τ_m とすれば，(6) 式より，

$$\tau_m = K_4 \int_0^{D_m} N_{(D)} \cdot D^2 dD \quad (7)$$

を得る．ここで D_m は最大粒径を示すものとする．

* 例えば，同一粒径をもつ球形粒子では，投影面積 S_1 と表面積 S_0 間には $S_0=4S_1$ の関係がある．

異った系の比較を容易にするために, 比濁度 τ_r をつぎの形で定義する.

$$\tau_r = \tau / \tau_m \quad (8)$$

(6), (7) 式より τ_r は,

$$\tau_r = \int_0^D N_{(D)} \cdot D^2 dD \bigg/ \int_0^{D_m} N_{(D)} \cdot D^2 dD \quad (9)$$

となる. (9) 式からわかるように, τ_r は τ の物理的意味を無次元化することに相当し, 粒子初濃度を含む定数 K_4 を消去することができる. 当然のことながら沈降直前では $\tau_r = 1$ である.

いま最大粒径が D_2 で比濁度 $\tau_{r(D_2)}$ の懸濁液が沈降によって最大粒径が D_1 で比濁度 $\tau_{r(D_1)}$ になる場合を考えると, 比濁度の差 $\Delta\tau_r$ は,

$$\Delta\tau_r = \tau_{r(D_2)} - \tau_{r(D_1)} = \int_{D_1}^{D_2} N_{(D)} \cdot D^2 dD \bigg/ \int_0^{D_m} N_{(D)} \cdot D^2 dD \quad (10)$$

の関係にある. すなわち, 粒径 D_1 から D_2 間の粒子の投影面積 (または表面積) と全粒子のその比を表わす.

粒径を D_1 と D_2 が近接するように区分すると, D_1 と D_2 間の平均粒径 \bar{D}_i とそれに対応する個数分布率 $N(\bar{D}_i)$ を用いて,

$$\int_{D_1}^{D_2} N_{(D)} \cdot D^2 dD \approx N(\bar{D}_i) \cdot \bar{D}_i^2 \quad (11)$$

$$\int_0^{D_m} N_{(D)} \cdot D^2 dD \approx \sum_{i=1}^{\max} N(\bar{D}_i) \cdot \bar{D}_i^2 \quad (12)$$

と近似することができる. それゆえ, (10), (11), (12) 式より,

$$\Delta\tau_{r,i} = N(\bar{D}_i) \cdot \bar{D}_i^2 \bigg/ \sum_{i=1}^{\max} N(\bar{D}_i) \cdot \bar{D}_i^2 \quad (13)$$

を得る. (8) 式の条件から, つぎの (14) 式の制限がある.

$$\sum_{i=1}^{\max} \Delta\tau_{r,i} = 1 \quad (14)$$

これより粒子の個数分布が既知の試料に対して, \bar{D}_i と $\Delta\tau_{r,i}$ の関係を知ることができる. 一方 (1) 式を用いると粒径と沈降時間に対応* させることができ, τ_r の経時変化を予測することができる.

一般に面積は粒径 D の二乗, 容積は粒径 D の三乗に比例し, 重量 (w) が容積と密度の積となる. それゆえ

$$nD^2 \propto w/D \quad (15)$$

と示されるので, 粒度分布が重量基準で与えられる場合は, 同様にして重量分布率 $W(\bar{D}_i)$ を用いて

$$\Delta\tau_{r,i} = W(\bar{D}_i) / \bar{D}_i \sum_{i=1}^{\max} (W(\bar{D}_i) / \bar{D}_i) \quad (16)$$

を得る. この場合も, 粒径を (1) 式より時間に変換すると τ_r の時間的变化を予測することができる.

第1表の粒度構成を持つ本実験の試料について, 同表のように粒径を 1μ 毎に区分して \bar{D}_i を定め, 2° , 20° , 60° および 97°C について清澄曲線を求めると第6図より第8図を得る. 同図を求め

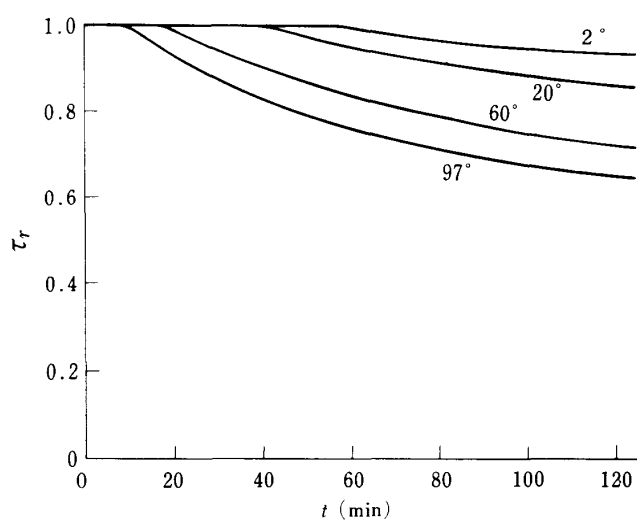
* 実際には適用しにくいが本文の意味を補足する意味で他の方法による清澄曲線の説明をつぎに示す.

(5) 式両辺を時間 t で微分して, (1) 式を用いると

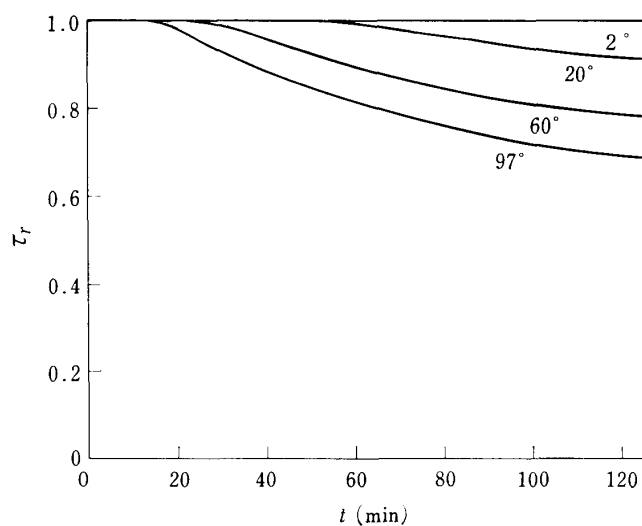
$$-d\tau/dt = (K_3/2) \cdot k^3 \cdot n_{(D)} \cdot t^{-5/2} \quad (a)$$

$$k = \sqrt{18 \cdot \eta \cdot h / g (\rho_s - \rho)}, \quad h: \text{沈降距離}$$

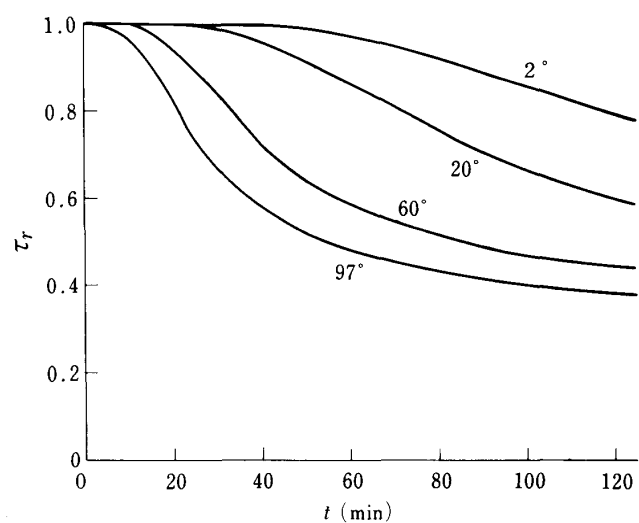
を得る. すなわち, 清澄曲線の勾配が, $k^3 \cdot n_{(D)} \cdot t^{-5/2}$ に比例している.



第6図 カオリン懸濁液の理論清澄曲線



第7図 石英懸濁液の理論清澄曲線



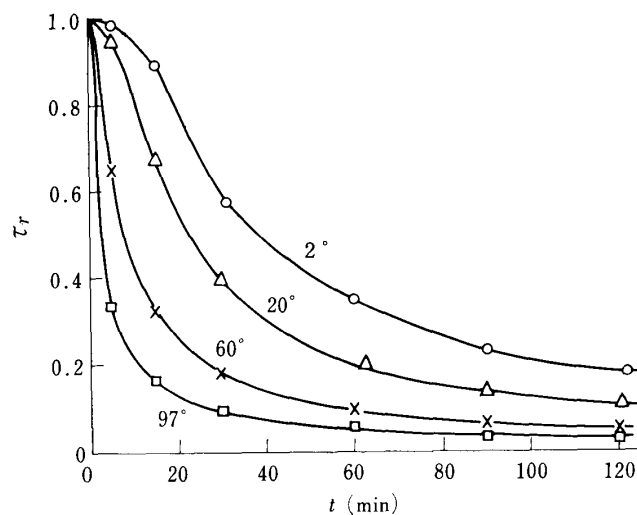
第8図 酸化第2鉄懸濁液の理論清澄曲線

るに当り、実験に合わせて沈降距離を 5cm ととり、粒子同志の凝集および対流の影響は無視できるものと仮定した。第6図はカオリンの清澄曲線であるが、第1表に見るように微細な粒子よりなるため、量的には澄みにくい、温度が高くなるほど清澄が速くなることがわかる。第7図の石英の場合は、他の試料に較べ最も密度が小さいため、全体的に最も澄みにくい、やはり温度の影響はあらわれている。温度が 2°C の場合は 120 分後にも全く変化がないが、97°C になると τ_r が 30 % 程度低くなることがわかる。第8図の酸化第2鉄の場合は、最も密度が高いため全体的に他の試料より清澄速度が速いが、温度の影響はとくに顕著である。例えば常温に相当する 20°C では 120 分後に τ_r が 0.6 に下がるが、2°C では 0.8 までしか期待できない。一方 60°C では 0.45, 97°C では 0.4 まで下げることができる。

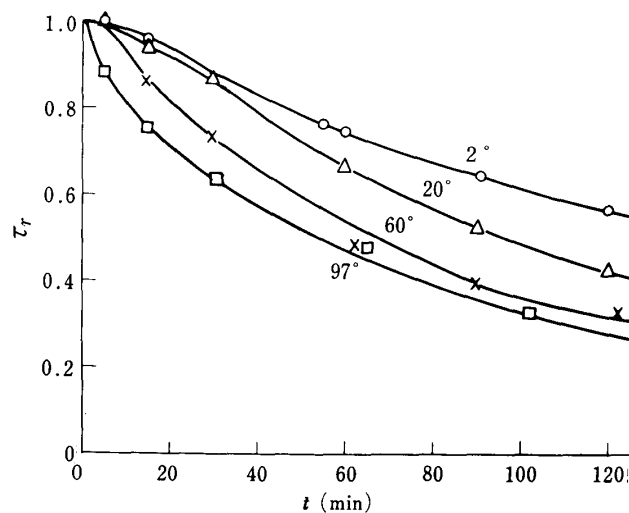
5. 実験結果および考察

実験に先立ち、懸濁質濃度以外の条件を一定にして τ_m を測定し、吸光度が濃度に比例することを確認した。

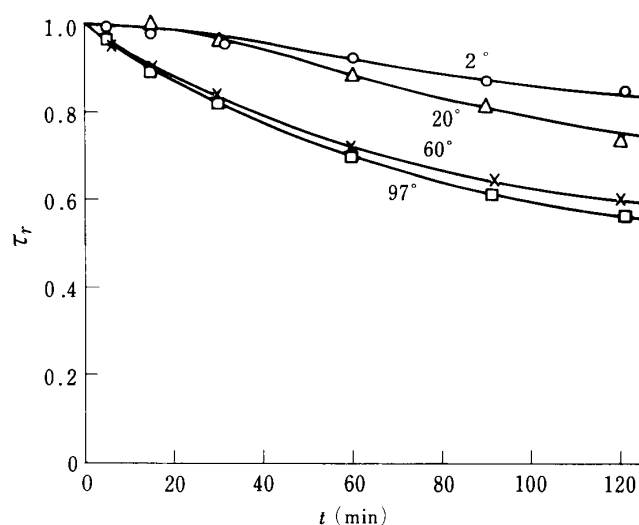
第9図から第11図に、pH を変えてカオリン懸濁液の τ_r の時間的变化と温度の関係を測定した



第9図 カオリン懸濁液の清澄曲線 (1) pH=3.2



第10図 カオリン懸濁液の清澄曲線 (2) pH=5.9



第11図 カオリン懸濁液の清澄曲線 (3) pH=6.8

結果を示す．図に見るように，各 pH において温度が高くなるほど清澄が速くなる．例えば第9図の pH=3.2 の場合について， τ_r が 0.2 まで低下する時間を 20°C を基準として表わしてみると，およそ

温度	2°C	20°C	60°C	97°C
時間比	2	1	1/2	1/5

となる．常温に相当する 20°C に比べ，2°C では約 2 倍の時間を要し，寒冷な場合の清澄が困難なことを示している．逆に温度を上げると速く澄むようになり，60°C では半分，97°C では約 1/5 の時間で同じ効果を達成でき，処理面積や処理容量の改善が可能であることを示している．

各 pH の曲線を比較すると，第9図の pH=3.2 の場合に最も澄みやすく，pH が高くなると第10図，第11図のように澄みにくくなることがわかる．第12図の 25°C における ζ 電位^{9),10)} を参照すると，この pH による清澄曲線の違いは，粒子の凝集分散を反映していることが推察できる．事実第11図の pH=6.8 の場合では，完全な分散を仮定して求めた第7図の理論曲線に近く，分散状態にあることがわかる．したがって，pH=3.2 の場合は凝集状態にあることが定性的に理解できる．これをもう少し定量的に確認する意味で，見掛けの粒度構成* を求めてみた．

(15) 式を参照すると (16) 式と類似の推論から，重量分布率 $W_{(\bar{D}_i)}$ は，

$$W_{(\bar{D}_i)} = W_{(\bar{D}_i)} / \sum_{i=1}^{\max} W_{(\bar{D}_i)} = D \cdot \Delta\tau_{r,i} / \sum_{i=1}^{\max} D \cdot \Delta\tau_{r,i} \quad (17)$$

の関係にあり， $D \cdot \Delta\tau_{r,i}$ の算出に図上積分を採用して求めうる．pH=3.2 のカオリン懸濁液の清澄

9) 臼井進之助，下飯坂潤三，向井 信：第24回コロイドおよび界面化学討論会講演要旨集，(1971)，133.

10) T. Ohyama, J. Shimoizaka & S. Usui: Bull. Chem. Soc. Japan, **34** (1961), 791.

* 前掲脚注 (a) 式を用いても求めることができる．すなわち (a) 式からつぎの (b) 式を得る．

$$n_{(D)} = (2/K_3 \cdot k^3) (-d\tau/dt)^{5/2} \sqrt{t} \quad (b)$$

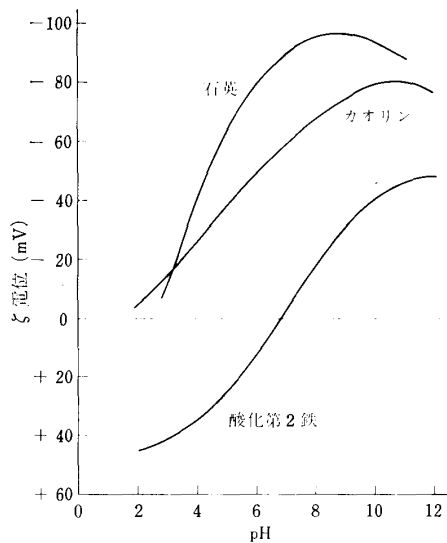
$$\Sigma n_{(D)} = \int_0^{Dm} n_{(D)} dD \quad (c)$$

および

$$w_{(D)} = \int_0^{Dm} n_{(D)} \cdot D^3 dD \quad (d)$$

を用いると，清澄曲線の勾配を直接用いて， N, W を求めることもできる．Gumprecht¹¹⁾ らは，直接 I の変化を用いる方法を報告している．

11) R.O. Gumprecht & C.M. Slicevich: J. Phys. Chem., **57** (1953), 95.

第12図 25°Cにおける ζ -電位とpHの関係

曲線を利用して求めた見掛けの粒度構成は、分散状態を保って測定した第1表の粒度構成に較べ大きな粒径を示し(モード径で約3倍), 明らかに凝集が起っていることを示した. 以上のことから, 全pHを通して各温度の結果を比較すると, 懸濁液を凝集条件に保ち, さらに温度を高くすることが, 清澄速度を速くするために最も効果的であることがわかる. 例えば, 第11図の場合, 常温では30分放置してもほとんど澄まないが, 凝集状態にある第9図では, 60°Cで $\tau_r=0.2$ 以下, 97°Cでは $\tau_r=0.1$ まで清澄が進み, 極めて能率のよい処理ができることになる.

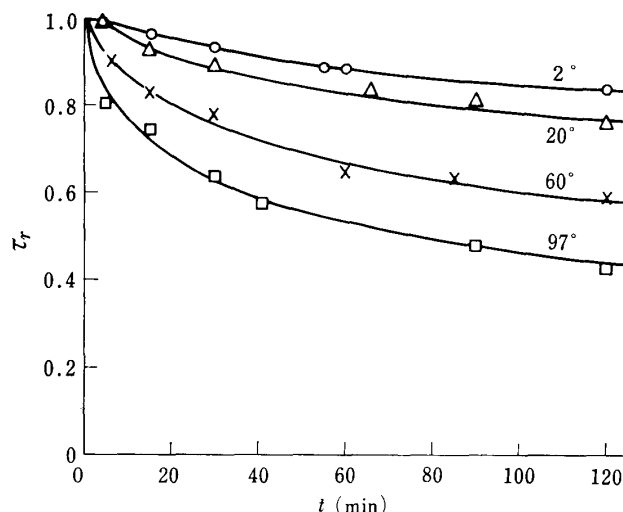
石英懸濁液のpH=3.2および7.4における結果を第13図, 第14図に示す. 両図とも温度が高くなるほど清澄速度が速くなり理論的考察の結果と一致する. 石英は, 第12図の ζ 電位¹⁰⁾が示すように, 低pH側に等電点を持ち, pHが高くなるほど負の荷電を強く帯びる. 実験結果はこの傾向に一致するpH依存性を示しており, この場合も,

先のカオリン同様凝集効果があると, 清澄速度の温度依存性が大きくなることを示している.

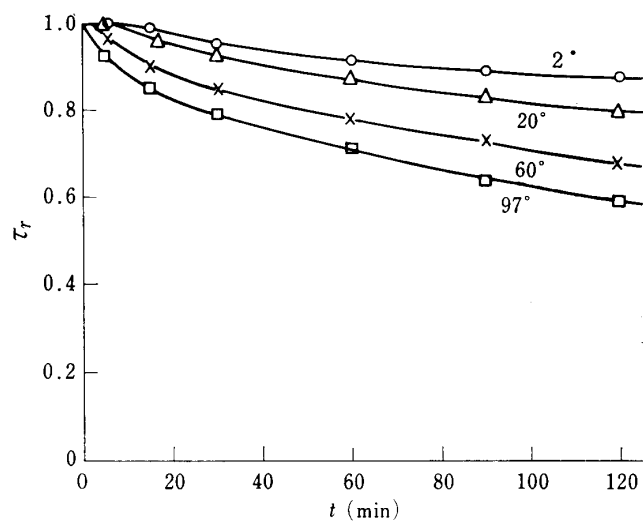
酸化第2鉄懸濁液につき, pH=3.1および7.6で求めた清澄曲線を第15図, 第16図に示す. 本系では, 同一濃度の懸濁液を用いたにも拘らず, 沈降開始直前の τ_m は, pH=7.6の時に0.8程度, pH=3.1の時に0.3前後の値を示した. このことから後者は, よく凝集していることがわかる. 酸化第2鉄は第12図の ζ 電位⁹⁾からわかるように, 中性付近に等電点があり, このpHからはなれるにつれて酸性側では正に, アルカリ側では負に帯電する. 上記事実は, これに対応しており, 第15図の場合は理論曲線に近く分散の傾向を示している. すなわち, 前述の2試料と同様に, 温度が高くなるほど清澄速度が速くなり, この時凝集条件にあると一層加速されることがわかる.

6. 結 言

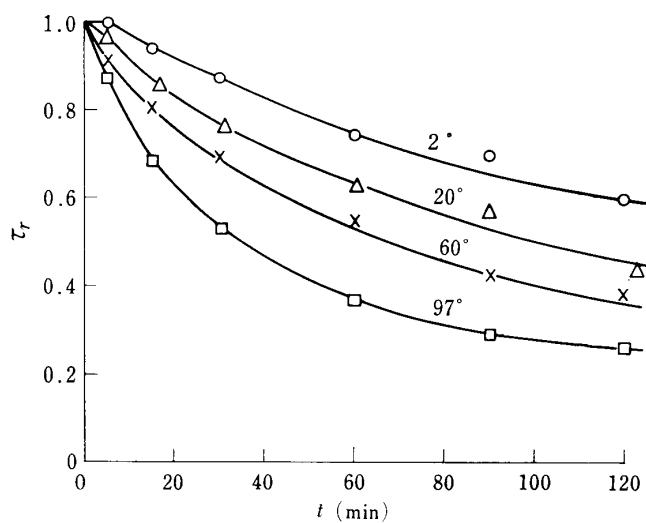
固一液分離におよぼす温度の影響に関する研究の一環として, カオリン, 石英あるいは酸化第2鉄の各微細粒子を用い, 稀薄懸濁液の清澄速度と温度の関係につき, 理論的および実験的に検討し



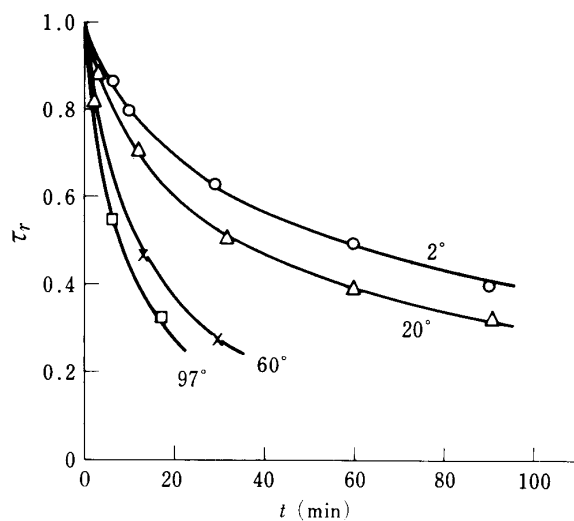
第13図 石英懸濁液の清澄曲線 (1) pH=3.2



第14図 石英懸濁液の清澄曲線 (2) pH=7.4



第15図 酸化第2鉄懸濁液の清澄曲線 (1) pH=3.1



第16図 酸化第2鉄懸濁液の清澄曲線 (2) pH=7.6

た。実験には吸光度(濁度)の測定を採用したが、要約すると次のようである。

- (1) 比濁度 τ_r を (8) 式の形で定義し、清澄度を表現した。
- (2) 理論的考察により、粒子の分散を仮定して供試料の τ_r の経時変化を、温度の影響を含めて定量的に予測した。
- (3) 清澄速度の温度依存性の実験結果は、理論的考察に一致して、高温ほど速くなることを示した。
- (4) 各温度において、清澄速度は pH の影響を受けた。この pH 依存性は、25°C の ζ 電位の値から予測できる凝集分散の傾向と一致した。
- (5) 分散状態に対応する pH の実験から求めた清澄曲線は、理論的に予測したものとほぼ一致した。
- (6) 粒子同志の凝集があり、温度が高い場合は、それぞれの因子の単独効果に比べ、極めて速い清澄が可能であった。
- (7) 97°C の実験では、自然対流による液の流動が起こり、分散状態にある懸濁液の清澄を若干妨げることがあった。

稀薄懸濁液の清澄速度に対する温度の効果は、従来あまり注意されなかったが、以上にまとめたように、極めて重要であることを確認した。今後積極的に活用すべき要因であろう。本研究の結果から、実際の処理に適用する際の要点として、次のようなことがいえる。

- (1) 清澄速度を速くするためには、凝集しやすい条件を与えて温度を高くすることが有効である。
- (2) 本研究の方法により、見掛けの粒度構成を求めると、各温度の清澄曲線を予測することができる。
- (3) 温度は自然対流を考慮して、あまり高くする必要はないが、できるだけ熱放散や温度の不均一を防ぐための保温や液面の被覆が有効である。

おわりに本研究の実験を担当された当研究所千葉紀子さんおよび試料の粒度分析をお願いした同所技官坂田和男氏に感謝の意を表します。また本実験の石英試料は同所助手岡田茂氏の御好意によるものであり、ここに感謝の意を表します。

記 号

D : 粒径	$[\mu]$ または $[\text{cm}]$
\bar{D}_i : i 番目の分割区間の平均径	$[\mu]$ または $[\text{cm}]$
D_m : 試料中の最大粒径	$[\mu]$ または $[\text{cm}]$
g : 重力の加速度 ($=980$)	$[\text{cm} \cdot \text{sec}^{-2}]$
h : 水面から試料採取位置までの距離	$[\text{cm}]$
i : i 番目の分割区間を示す添字	
I : 透過光の強さ	$[-]$
I_0 : 入射光の強さ	$[-]$
$K(D)$: 粒径 D の粒子に対する吸光係数	$[-]$
K_1 : (2) 式の定数	$[-]$
K_2 : (4) 式の定数	$[\text{cm}]$
K_3 : (5) 式の定数	$[\text{cm}]$
K_4 : (6) 式の定数	$[\text{cm}^{-3}]$
k : (a) 式の定数 ($=\sqrt{18 \cdot \eta \cdot h / g (\rho_s - \rho)}$)	$[\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1/2}]$
l : 光の透過長さ	$[\text{cm}]$
$n(D)$: 粒径 D の粒子の個数濃度	$[\text{cm}^{-3} \cdot \text{cm}^{-1}]$

$N_{(D)}$: 粒径 D の粒子の個数分布率	[—]
$N_{(\bar{D}_i)}$: \bar{D}_i の粒径に属する粒子の個数分布率	[—]
t : 沈降時間	[sec]
τ : 濁度 ($=\log(I_0/I)$)	[—]
τ_m : 沈降開始直前の τ	[—]
τ_r : 比濁度 ($=\tau/\tau_m$)	[—]
$\Delta\tau_r$: $\tau_{(D_2)} - \tau_{(D_1)}$ (ただし, $D_1 < D_2$)	[—]
$\Delta\tau_{r,i}$: i 番目の粒径範囲の粒子に対応する $\Delta\tau_r$	[—]
$-d\tau/dt$: 清澄速度	[sec ⁻¹]
u : 沈降速度	[cm·sec ⁻¹]
$w_{(\bar{D}_i)}$: 質量濃度	[g·cm ⁻³ ·cm ⁻¹]
$W_{(\bar{D}_i)}$: 質量分布率	[—]
ρ_s : 粒子密度	[g·cm ⁻³]
ρ : 懸濁媒の密度	[g·cm ⁻³]
η : 懸濁媒の粘度	[poise]